

550,536

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
7 octobre 2004 (07.10.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/085109 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ :**B23K 26/06**, 26/38, F02M 61/16

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2004/002408

(22) Date de dépôt international : 9 mars 2004 (09.03.2004)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

03006697.1 26 mars 2003 (26.03.2003) EP

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **LASAG AG** [CH/CH]; C.F.L.- Lohnerstrasse 24, CH-3602 Thun (CH).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **DÜRR, Ulrich** [DE/CH]; Wylergasse 24, CH-3608 Allmendingen (CH). **FREI, Bruno** [CH/CH]; Mühlestrasse 23, CH-3634 Thierachern (CH).(74) Mandataire : **I C B**; Ingénieurs Conseils en Brevets SA, Rue des Sors 7, CH-2074 Marin (CH).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

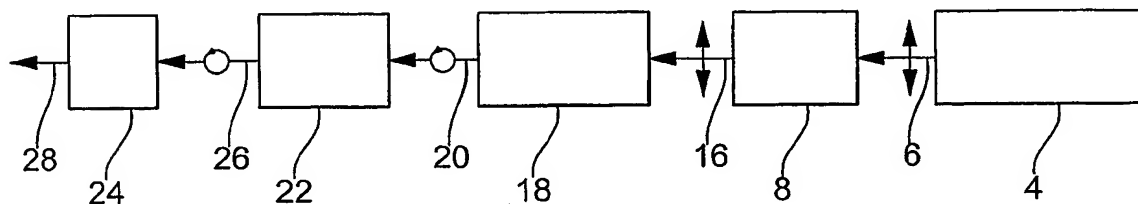
Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: LASER DEVICE WHICH IS USED TO PIERCE HOLES IN COMPONENTS OF A FLUID-INJECTION DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF LASER POUR PERCER DES TROUS DANS DES COMPOSANTS D'UN DISPOSITIF D'INJECTION D'UN FLUIDE



(57) Abstract: The invention relates to a laser machining device which is used to pierce holes in the components of a device for injecting a fluid such as a fuel into a combustion engine. The laser resonator (4) is formed by a solid active medium which is optically pumped using laser diodes. The resonator is arranged such as to supply primary pulses in the range of microseconds. Moreover, modulation means (8) are disposed between the resonator and a machining head (24), which are used to modulate the amplitude of the primary pulses supplied by the resonator, such as to produce a train of shorter secondary pulses for each of said pulses.

(57) Abrégé : Le dispositif d'usinage laser est prévu pour percer des trous dans des composants d'un dispositif d'injection d'un fluide, notamment d'un carburant dans un moteur à combustion. Le résonateur laser (4) est formé par un milieu actif solide pompé optiquement au moyen de diodes laser. Le résonateur est agencé pour fournir des impulsions primaires dans le domaine des microsecondes. Entre le résonateur et une tête d'usinage (24) sont agencés des moyens de modulation (8) permettant de moduler l'amplitude des impulsions primaires fournies par le résonateur, de manière à obtenir pour chacune de ces impulsions un train d'impulsions secondaires de durée inférieure.

WO 2004/085109 A1

DISPOSITIF LASER POUR PERCER DES TROUS DANS DES
COMPOSANTS D'UN DISPOSITIF D'INJECTION D'UN FLUIDE

La présente invention concerne un dispositif d'usinage laser pour percer des trous dans des composants d'un dispositif d'injection d'un fluide, en particulier d'un carburant dans un moteur à combustion. Par moteur à combustion, on comprend tout type de moteur ou de réacteur dans lequel un carburant est fourni directement ou indirectement à au moins une chambre de combustion par l'intermédiaire d'un dispositif d'injection. Par composant d'un dispositif d'injection, on comprend notamment des buses d'injection, des régulateurs de débit ou encore des filtres.

Actuellement, on connaît diverses méthodes pour percer des trous dans les composants susmentionnés, notamment l'utilisation de certains dispositifs laser. Par exemple, on a déjà proposé l'utilisation de lasers à milieu actif solide pompés par diode laser (DPSSL) et agencés avec des moyens de variation du facteur de qualité Q du résonateur (Q-switch). De tels lasers engendrent une pluralité d'impulsions dont la très courte période est généralement bien inférieure à $1\mu\text{s}$, par exemple 15 nanosecondes.

Un dispositif laser du type mentionné ci-dessus a été déjà réalisé par diverses sociétés. L'utilisation d'un tel laser à cristal pompé par des diodes laser présente de nombreux avantages relativement à un laser à cristal, par exemple Nd : YAG, pompé par une lampe flash. En effet, l'utilisation d'une telle lampe flash engendre des variations d'une impulsion à l'autre, notamment une fluctuation d'intensité des impulsions fournies, une variation dans la durée du flan montant de celles-ci. De plus, la stabilité du résonateur n'est pas très bonne, en particulier à cause de l'échauffement du milieu actif par la lampe flash qui présente un spectre d'émission relativement large. Le laser présente ainsi un rendement non optimal car une partie de l'énergie n'est pas utilisée pour la génération du faisceau laser. Ceci a également pour conséquence que le milieu actif est soumis à des contraintes thermiques qui diminuent la stabilité et la qualité d'émission des impulsions. Ceci a pour inconvénients majeurs de limiter la précision des trous à usiner et d'empêcher une bonne reproductibilité d'un trou à l'autre. Ainsi, la géométrie des trous effectués par des lasers pompés à l'aide d'une lampe flash présente de mauvaises tolérances d'usinage et ne permet pas de déterminer précisément le débit d'un fluide au travers de ces trous.

Toutefois, l'usinage de trous à l'aide d'un dispositif laser équipé d'un Q-switch fournissant des trains d'impulsions de très courte durée, dans le domaine des nanosecondes, pose un problème d'efficacité pour l'usinage des trous. En effet,

l'usinage de trous, en particulier d'une certaine profondeur, nécessite un grand nombre de telles impulsions successives, ce qui limite la vitesse d'usinage de tels trous et donc le rendement industriel d'un tel usinage. De plus, un tel dispositif laser est relativement peu flexible car il ne permet guère de varier précisément le profil des impulsions engendrées par le résonateur de manière à obtenir des impulsions avec un profil d'intensité adapté à l'usinage de chaque type de trous différents. La géométrie des trous usinés est donc difficilement variable dû au manque de souplesse dans le réglage des paramètres définissant les très courtes impulsions engendrées par le résonateur. Ensuite, des impulsions dans le domaine des nanosecondes ne permettent pas d'usiner des trous d'un diamètre relativement grand sans avoir recours à un procédé d'usinage nécessitant plusieurs perçages le long d'un tracé circulaire. Finalement, la fréquence du Q-Switch est limitée à cause de la formation d'un plasma durant une courte période, ce plasma absorbant l'énergie lumineuse d'une impulsion suivante s'il est encore présent au-dessus de la région d'usinage d'un trou.

Le but de la présente invention est de fournir un dispositif laser pour percer des trous dans des composants de dispositifs d'injection de fluides, notamment de carburant qui présente une bonne stabilité de fonctionnement, une grande précision d'usinage de trous et qui permet d'usiner ces trous à relativement haute vitesse pour obtenir un haut rendement industriel.

Un autre but de l'invention est de fournir un tel dispositif qui limite les coûts d'investissement nécessaire tout en conservant son efficacité.

A cet effet, l'invention concerne un dispositif d'usinage laser pour percer des trous dans des composants d'un dispositif d'injection d'un fluide, notamment d'un carburant dans un moteur à combustion, ce dispositif d'usinage comprenant un résonateur laser formé d'un premier milieu actif solide et de premiers moyens de pompage optique, ces premiers moyens de pompage étant formés par des diodes laser. Ledit résonateur est agencé pour engendrer des impulsions primaires dans le domaine des microsecondes. Ce dispositif d'usinage laser comprend des moyens de modulation agencés en aval dudit résonateur et fournissant en sortie un train d'impulsions secondaires pour chaque impulsion primaire entrant dans ceux-ci.

Grâce aux caractéristiques du dispositif d'usinage laser selon l'invention, il est possible de percer des trous de manière efficace avec une grande précision, c'est-à-dire avec des tolérances d'usinage faibles, dans des composants d'un dispositif d'injection de carburant, par exemple dans une buse d'injection ou dans un orifice d'étranglement servant à déterminer le débit d'un fluide. Ce dispositif permet d'engendrer des impulsions primaires de durée relativement longues, en particulier supérieur à 50µs. On a observé qu'un train d'impulsions présentant chacune une

relativement courte durée, par exemple entre 1 et 20 μ s, augmente le rendement et la précision du perçage au moyen d'un dispositif laser. Toutefois, cette efficacité diminue avec des impulsions périodiques dans le domaine des nanosecondes engendrées par un résonateur avec un Q-Switch. En effet, on a observé dans le cadre de la présente invention que le rendement d'usinage de matériaux durs est plus faible dans le domaine des nanosecondes que dans le domaine des microsecondes. Cependant, la précision d'usinage requière de ne pas trop augmenter l'énergie par impulsion.

Le dispositif selon l'invention permet d'engendrer un tel train d'impulsions secondaires avec un profil d'intensité optimal grâce aux moyens de modulation prévus en aval d'un résonateur laser sans Q-Switch fournissant des impulsions primaires dont l'énergie est supérieure à celle d'une impulsion secondaire. Le dispositif laser est donc agencé pour fournir dans des périodes relativement courtes une assez grande quantité d'énergie permettant un usinage rapide de trous tout en modulant l'intensité lumineuse pour obtenir un perçage précis et propre. Un autre avantage des impulsions modulées est l'optimisation du procédé de perçage relativement à la dynamique du plasma engendré par les impulsions laser. Les impulsions primaires peuvent être fournies périodiquement pour l'usinage d'une pluralité de trous avec un rendement industriel élevé.

Les moyens de modulation sont par exemple formés par une cellule de Pockels. De telles cellules peuvent être commandées de manière précise et permettent également de faire varier le profil d'intensité du train d'impulsions secondaires fournis en sortie de la cellule pour optimiser l'efficacité du perçage des trous en fonction du matériau dans lequel ces trous sont effectués et également en fonction des paramètres géométriques définis pour ces trous.

On notera que la combinaison d'un résonateur pompé par diodes lasers et fournissant des impulsions primaires dans le domaine des microsecondes, en particulier de l'ordre des dizaines ou centaines de microsecondes, avec des moyens de modulation de ces impulsions primaires permettant de varier la distribution temporelle de l'énergie en formant une pluralité d'impulsions de périodes plus courtes constitue une solution particulièrement efficace, car elle cumule les avantages de rendement et de stabilité pour le résonateur avec la flexibilité dans la génération de la distribution d'énergie arrivant sur le matériau usiné et ainsi la précision du perçage effectué. Il résulte donc des caractéristiques de l'invention que le dispositif d'usinage laser permet d'usiner des trous de manière reproductible avec de faibles tolérances.

Le dispositif selon l'invention est ainsi particulièrement bien adapté au perçage de trous ou orifices d'étranglement dans les composants d'un dispositif ou système d'injection d'un fluide, en particulier d'un carburant.

Le dispositif d'usinage laser selon l'invention sera décrit ci-après plus en détail à l'aide du dessin annexé, donné à titre d'exemple non limitatif, dans lequel :

- la figure 1 représente de manière schématique les éléments principaux d'un mode de réalisation préféré de l'invention;
- 5 - la figure 2 montre les divers éléments d'un premier mode de réalisation du résonateur du dispositif de la figure 1;
- la figure 3 montre la transformation du faisceau laser par les moyens de modulation du dispositif de la figure 1;
- la figure 4 montre un deuxième mode de réalisation du résonateur du
10 dispositif de la figure 1, et
- la figure 5 représente schématiquement un mode particulier d'agencement des moyens d'amplification du dispositif de la figure 1.

A l'aide des figures 1 à 3, on décrira ci-après un premier mode de réalisation de l'invention. Ce dispositif comprend un résonateur 4 fournissant un faisceau laser 6
15 présentant une polarisation linéaire. Ce faisceau 6 est formé d'une succession d'impulsions primaires dans le domaine des microsecondes. Il est fourni à des moyens de modulation 8 agencés pour moduler le faisceau laser entrant de manière à varier la distribution d'intensité de ce faisceau, c'est-à-dire de varier le profil de
20 puissance de ce dernier de manière à former des trains d'impulsions secondaires de durée inférieure aux impulsions primaires fournies par le résonateur 4. Par impulsions dans le domaine des microsecondes, on comprend des impulsions dont la durée est supérieure à $1\mu\text{s}$, en particulier entre $50\mu\text{s}$ et 1 milliseconde.

Dans une variante préférée de l'invention, le dispositif d'usinage laser est agencé de manière à ce que les impulsions primaires engendrées par le résonateur 4
25 permettent chacune d'effectuer un trou dans le composant usiné. Ceci permet d'obtenir un haut rendement industriel dans la fabrication des composants d'un dispositif d'injection, sans nuire à la précision d'usinage et à la qualité des trous effectués grâce aux moyens de modulation 8, en particulier formés d'une cellule de Pockels. De plus cette solution permet d'obtenir un très bon rendement énergétique
30 pour un milieu actif formé d'un cristal du type Nd : YAG pompé optiquement par des diodes laser (DPSSL). La combinaison d'un tel résonateur avec les moyens de modulation agencés en aval permet toutefois d'obtenir des trains d'impulsions secondaires de durée inférieure, en particulier entre 1 et $20\mu\text{s}$ comme cela est représenté à la figure 3. A titre d'exemple, les impulsions primaires 10 fournies par le
35 résonateur ont une durée entre $50\mu\text{s}$ et 1ms. La cellule de Pockels 8 module l'impulsion primaire 10 et fournit en sortie un train d'impulsions secondaires 12 ayant chacune une durée comprise entre 1 et $20\mu\text{s}$. On notera que la cellule de Pockels

peut être commandée de manière à définir précisément un profil de puissance optimal pour l'application sélectionnée. Ainsi, la modulation en puissance n'est pas nécessairement binaire, mais peut varier entre un minimum non nul et un maximum donné.

5 Le faisceau laser 16 sortant du modulateur 8 reste polarisée linéairement. Ce faisceau 16 entre ensuite dans une diode optique 18 formée par exemple par un polariseur linéaire et par une lame quart-d'ondes agencée à la suite de ce polariseur. Le faisceau laser 20 sortant de cette diode optique présente une polarisation circulaire. Le faisceau 20 entre ensuite dans un amplificateur 22 agencé pour amplifier
10 les trains d'impulsions secondaires 12. Généralement, cet amplificateur est formé par un milieu actif solide pompé optiquement.

Avantageusement il est possible de commander les moyens d'amplification de manière à varier l'amplitude des impulsions secondaires, au sein d'un même train d'impulsions secondaires, par décalage temporel de l'impulsion engendrée dans ces
15 moyens d'amplification relativement à l'enveloppe de l'impulsion primaire arrivant dans ces moyens d'amplification. On utilise ainsi le flanc montant ou le flanc descendant de l'impulsion d'amplification pour moduler en amplitude les impulsions secondaires.

La diode optique 18 sert principalement à protéger le résonateur 4 contre des réflexions au niveau de l'amplificateur 22 et également de la tête d'usinage 24 suivant
20 cet amplificateur. Le faisceau laser 26 sortant de l'amplificateur 22 est toujours polarisé circulairement, tout comme le faisceau 28 sortant de la tête d'usinage 24.

La tête d'usinage comprend des moyens de focalisation et peut également comprendre un expanseur de faisceaux précédant les moyens de focalisation.

On remarquera que l'agencement d'une diode optique dans le dispositif de la
25 figure 1 permet d'augmenter l'efficacité de ce dispositif et en particulier d'augmenter la qualité du faisceau laser fourni. De plus, cette diode optique permet d'assurer la stabilité du résonateur en évitant des perturbations et/ou interférences dans la cavité résonante. Ceci permet donc d'assurer une bonne reproductibilité d'une impulsion primaire à l'autre et donc d'une bonne reproductibilité des trains d'impulsions fournis
30 par le dispositif en sortie de la tête d'usinage 24.

Le résonateur 4 est montré plus en détail à la figure 2. Il comprend de manière classique un laser de positionnement 32 permettant d'ajuster la position des éléments de la cavité résonante et également d'orienter correctement la pièce à usiner
relativement au faisceau laser. Ensuite, il comprend de manière classique un miroir 34
35 et un miroir partiellement réfléchissant 36. Il comprend aussi un séparateur de faisceaux 38 permettant de mesurer l'énergie du faisceau à l'aide des moyens de mesure 40. Il comprend également un obturateur de sécurité 42 et finalement un

5 expandeur 44 permettant d'augmenter le diamètre du faisceau laser engendré. Dans le mode de réalisation de la figure 2, le résonateur 4 comprend en outre un polariseur linéaire 46 et un diaphragme 48. Ce résonateur comprend une cavité 52 formé d'un milieu actif solide en cristal Nd : YAG. Dans le cas de la présente invention, ce milieu
10 actif est pompé optiquement par des diodes laser agencées de manière connues de l'homme du métier, notamment sous forme de barre ou de matrice de diodes.

Comme mentionné précédemment, le dispositif d'usinage laser selon l'invention permet d'obtenir un faisceau de bonne qualité, propre à un usinage précis de trous dans divers composants, en particulier des composants d'un dispositif
10 d'injection de fluide. Par ceci, on comprend notamment un faisceau qui soit bien circulaire, qui présente une distribution d'intensité sensiblement constante et qui puisse être focalisé précisément avec un diamètre au point focal relativement petit. Ce dispositif a également une très bonne stabilité. Cette stabilité se caractérise notamment par une faible fluctuation de la puissance moyenne fournie, par une faible
15 variation de la puissance des impulsions primaires engendrées par le résonateur et finalement par une faible variation de la puissance du train d'impulsions secondaires fournies par le dispositif laser, ainsi que par une faible variation de la distribution en intensité de ces trains d'impulsions secondaires.

Le dispositif de l'invention permet d'engendrer des impulsions laser avec une
20 variation en énergie inférieure à 1%. Ceci permet d'avoir une petite tolérance d'usinage relative à la surface des ouvertures définies par les trous et donc d'obtenir une faible variation de débit d'un fluide au travers de ceux-ci.

Les impulsions dans le domaine des microsecondes engendrées par le résonateur sont engendrées par exemple avec une fréquence variant entre 1Hz et
25 1kHz. La durée de chacune de ces impulsions varie par exemple entre 10 microsecondes (μ s) et quelques millisecondes (ms) alors que la durée des impulsions secondaires à la sortie du modulateur peut varier notamment entre 1 et 50 μ s. A l'aide de moyens d'amplification adéquats qui seront notamment décrits ci-après, la puissance de pointe des impulsions fournies peut par exemple être comprise entre
30 100W et 100kW. Le diamètre du faisceau laser avant l'optique de focalisation est typiquement inférieur à 50 mm. Etant donné la qualité du faisceau laser obtenu, il est possible de le focaliser précisément et de régler la distance du point focal relativement aux composants à usiner de manière très précise, notamment avec une tolérance inférieure à 50 μ m. On notera que le réglage précis de cette distance permet de définir
35 aussi le profil du trou usiné selon sa section longitudinale.

Le dispositif selon l'invention permet d'usiner notamment des trous d'un diamètre compris entre 5 μ m et 1mm. La précision d'usinage est relativement élevée,

c'est-à-dire que des trous identiques peuvent être usinés successivement de manière reproductible et avec de faibles tolérances. On obtient une tolérance sur la conicité du trou inférieur à 5 % du diamètre de ce trou. La déformation du profil circulaire du trou est inférieure à 5 % du diamètre. La reproductibilité d'un trou prédéfini à l'autre peut
5 être largement inférieure à 5 %, notamment inférieure à 2 %. Ces très bonnes tolérances résultent en particulier de l'utilisation d'un résonateur formé d'un milieu actif solide pompé par diodes laser et agencé pour fournir des impulsions primaires d'une durée relativement longue, lesquelles sont ensuite modulées par des moyens de modulation, en particulier une cellule Pockels, pour fournir des trains d'impulsions
10 secondaires dont la distribution en intensité peut être adaptée de manière optimale en fonction de la dynamique du perçage et en particulier du matériau dans lequel le trou est effectué, ainsi que des dimensions de ce dernier.

A la figure 4 est représenté un deuxième mode de réalisation du résonateur agencé dans le dispositif d'usinage laser de l'invention. Les éléments déjà mentionnés
15 précédemment ne seront pas décrits à nouveau en détail. Ce résonateur 50 se distingue essentiellement de celui de la figure 2 par le fait que l'oscillateur 56 est formé par un cristal de Nd : YVO₄. Ce cristal présente la particularité de fournir directement un faisceau laser polarisé linéairement de sorte que l'intégration d'un polariseur dans le résonateur 50 est superflu. Ceci permet, pour une certaine
20 puissance de pompage optique, d'obtenir un faisceau laser ayant une intensité bien supérieure à celle fournie par le résonateur de la figure 2 étant donné que l'intégration du polariseur 46 diminue sensiblement de moitié l'intensité lumineuse fournie. L'utilisation d'un tel cristal est connu pour des résonateurs avec un Q-switch fournissant des impulsions de durée très courte, mais n'a pas été proposé par
25 l'homme du métier dans un résonateur agencé pour fournir des impulsions relativement longues, sans l'intégration d'un Q-switch. L'utilisation d'un tel cristal est de fait particulièrement adaptée au dispositif selon l'invention étant donné que les moyens de modulation décrits ci-avant nécessitent généralement une polarisation linéaire du faisceau laser entrant. On notera que l'homme du métier connaît d'autres
30 cristaux ayant une même propriété.

Concernant la polarisation, on notera encore que l'agencement des divers éléments prévus dans le dispositif représenté à la figure 1 permet d'obtenir en sortie de la tête d'usinage un faisceau laser polarisé circulairement, ce qui est particulièrement adapté pour l'usinage de trous.

35 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, il est prévu que les moyens d'amplification 22 décrits précédemment soient formés d'au moins deux milieux actifs comme représentés schématiquement à la figure 5. Sur cette figure, les

moyens d'amplification 60 des impulsions laser sont formés de deux cavités 62 et 64 comprenant chacune un milieu actif solide 66, respectivement 68 pompés optiquement par des lampes flash 70.

L'utilisation de lampes flash dans les moyens d'amplification constituent un mode de réalisation particulier de la présente invention, également dans le cas où les moyens d'amplification 22 comprennent une seule cavité. La raison principale de l'agencement d'une lampe flash dans les moyens d'amplification est actuellement économique. En effet, l'utilisation de matrice de diodes laser reste relativement onéreuse. Dans le cas de la présente invention, on a observé que l'utilisation de lampes flash dans les moyens d'amplification avaient une influence relativement peu néfaste sur la qualité du faisceau laser et sur la stabilité du dispositif d'usinage laser. En effet, l'utilisation de lampes flash dans les moyens d'amplification est bien moins critique que pour le résonateur dans lequel les impulsions laser sont engendrées.

Finalement, on notera que l'homme du métier peut prévoir divers arrangements pour les moyens d'amplification permettant d'obtenir plusieurs niveaux d'amplification pour le faisceau laser. Associé à d'autres éléments optiques, il est possible d'envisager des réalisations où le faisceau laser passe au moins deux fois dans chaque cavité. En outre, il est à noter que dans le cadre de la présente invention telle que revendiquée, le milieu optique de l'amplificateur peut aussi être pompé par des diodes laser.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'usinage laser pour percer des trous dans des composants de dispositifs d'injection d'un fluide, notamment d'un carburant dans un moteur à combustion, ce dispositif d'usinage comprenant un résonateur laser (4, 50) formé d'un premier milieu actif solide et de premiers moyens de pompage optiques, ces premiers
5 moyens de pompage optiques étant formés par des diodes laser, caractérisé en ce que :
- ledit résonateur est agencé pour engendrer des impulsions primaires ayant une durée dans le domaine des microsecondes ou supérieures;
 - le dispositif d'usinage comprend en outre des moyens de modulation (8)
10 agencés entre ledit résonateur (4) et une tête d'usinage (24), ces moyens de modulation étant commandés pour fournir en sortie un train d'impulsions secondaires (12) pour chaque impulsion primaire (10) entrant dans ceux-ci.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une diode optique (18) agencée en aval dudit résonateur.
- 15 3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'amplification des impulsions fournies par ledit résonateur.
4. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'amplification des impulsions laser fournies par ledit résonateur, ces moyens d'amplification (22) étant agencés en aval de ladite diode optique (18).
- 20 5. Dispositif selon la revendication 2 ou 4, caractérisé en ce que ladite diode optique est formée par un polariseur linéaire et par une lame quart d'ondes agencée à la suite de ce polariseur.
6. Dispositif selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que lesdits moyens d'amplification sont commandés de manière à fournir des impulsions
25 d'amplification décalées temporellement relativement aux impulsions primaires pour moduler en amplitude lesdites impulsions secondaires.
7. Dispositif selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que lesdits moyens d'amplification comprennent une cavité formée par un deuxième milieu actif solide et par des deuxième moyens de pompage optique formés par une lampe
30 flash.
8. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits moyens d'amplification comprennent plusieurs milieux actifs définissant plusieurs niveaux d'amplification, chacun de ces milieux actifs étant pompé par une lampe flash.

9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit résonateur est agencé pour fournir à sa sortie un faisceau laser polarisé linéairement.

5 10. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit premier milieu actif est formé par un cristal sélectionné parmi les cristaux engendrant eux-mêmes directement une lumière polarisée linéairement, en particulier un cristal de Nd : YVO₄.

10 11. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour fournir des impulsions dans le domaine des microsecondes dont l'énergie permet le percement d'un trou prévu dans un composant donné par une seule impulsion primaire engendrée par ledit résonateur.

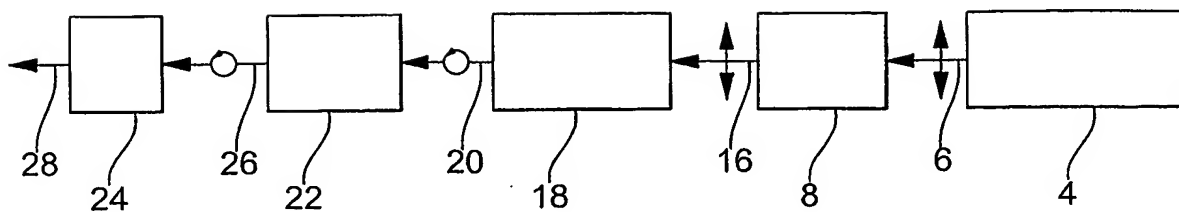


Fig.1

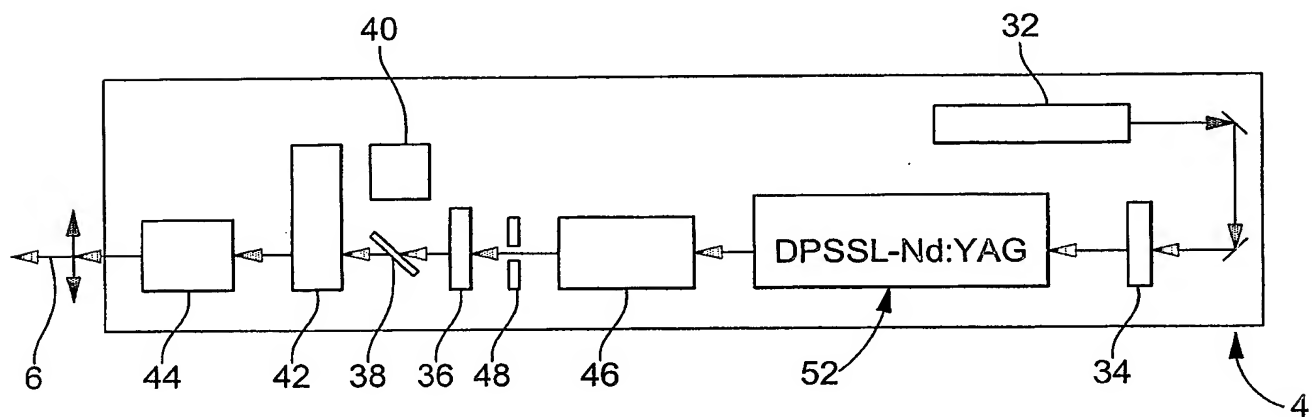


Fig.2

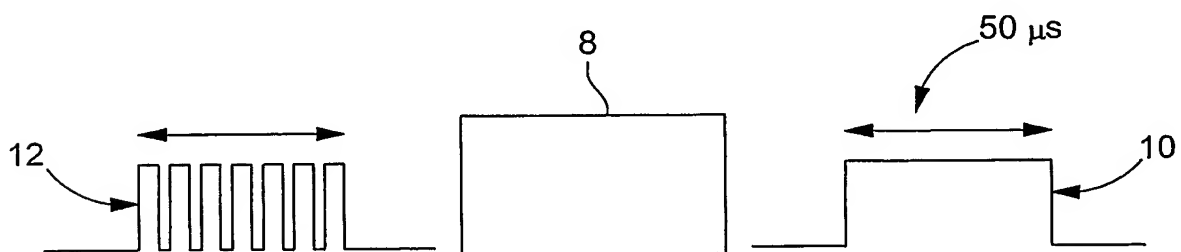


Fig.3

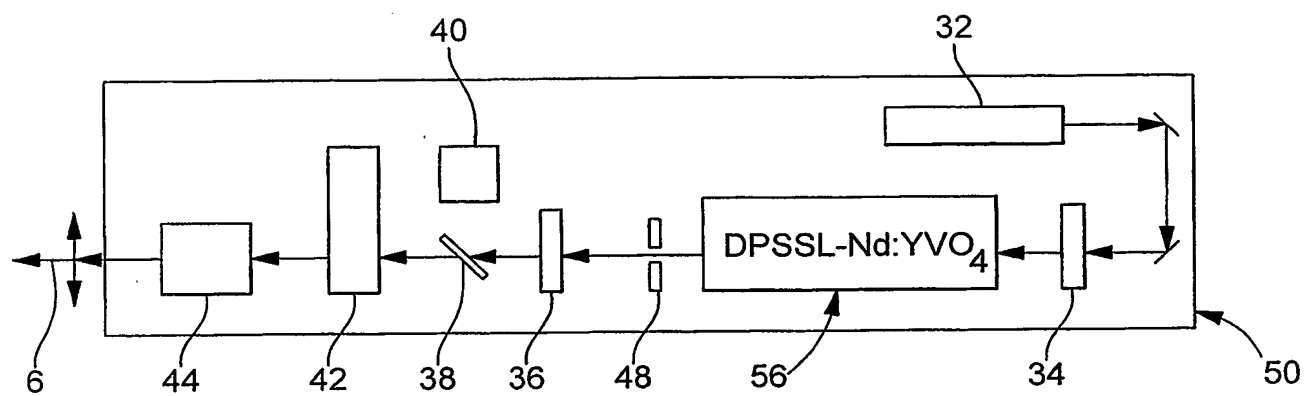


Fig.4

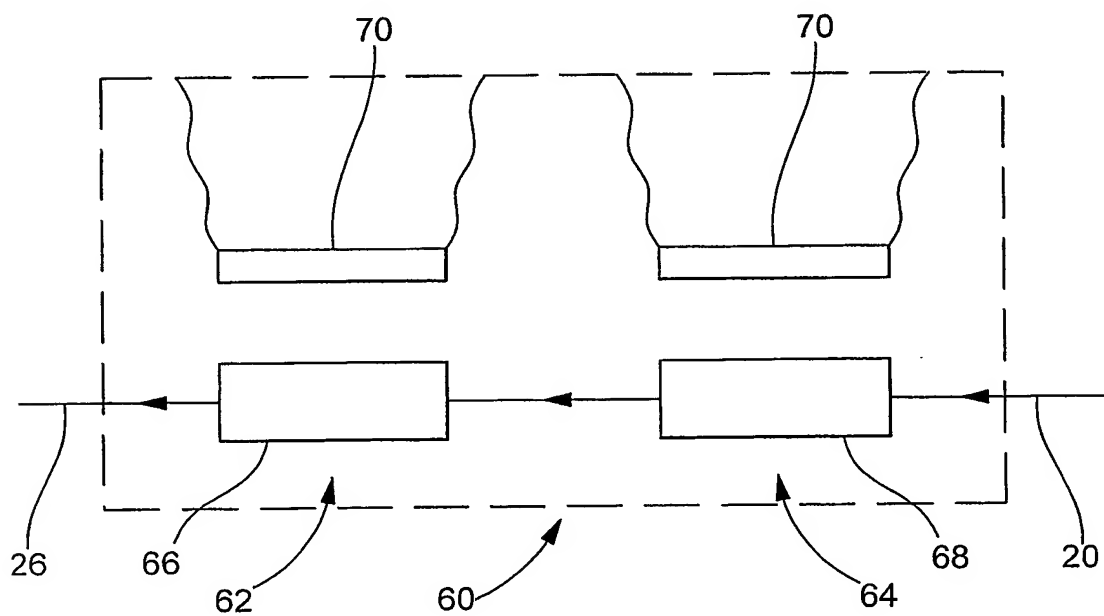


Fig.5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/002408

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K26/06 B23K26/38 F02M61/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/000426 A1 (MEAD ROY D ET AL) 3 January 2002 (2002-01-03) the whole document -----	1,5,6,9, 10

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- * & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 May 2004

Date of mailing of the international search report

15/06/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Aran, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/002408

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002000426	A1	03-01-2002	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No
PCT/EP2004/002408

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE CIB 7 B23K26/06 B23K26/38 F02M61/16		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 B23K F02M		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2002/000426 A1 (MEAD ROY D ET AL) 3 janvier 2002 (2002-01-03) le document en entier -----	1,5,6,9, 10
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe </div> </div>		
<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>*E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>*L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>*O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>*P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>*X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>*Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>*Z* document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <div style="text-align: center; font-weight: bold;">19 mai 2004</div>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <div style="text-align: center; font-weight: bold;">15/06/2004</div>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé <div style="text-align: center; font-weight: bold;">Aran, D</div>

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/EP2004/002408

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002000426	A1	03-01-2002	AUCUN